

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
COORDENAÇÃO DE PESQUISA

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA – PIBIC

**EVOLUÇÃO, DISTRIBUIÇÃO E CONSERVAÇÃO:
AMPLIANDO OS HORIZONTES DA MACROECOLOGIA
E BIOGEOGRAFIA NEOTROPICAL**

**GRADIENTES GEOGRÁFICOS DE TAMANHO
CORPORAL E RESISTÊNCIA CUTÂNEA EM ANFÍBIOS**

Área do conhecimento: Biologia
Subárea do conhecimento: Ecologia
Especialidade do conhecimento: Macrofisiologia

Relatório Final
Período da bolsa: de (08/19) a (07/20)

Este projeto é desenvolvido com bolsa de iniciação científica
PIBIC/CNPq

Orientador: Sidney Feitosa Gouveia
Autor: Marcos Vinícios Rodrigues dos Santos



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E
PESQUISA COORDENAÇÃO DE PESQUISA

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	1
2.	Objetivos.....	3
3.	Metodologia.....	4
4.	Resultados e discussões.....	7
5.	Conclusões.....	12
6.	Perspectivas de futuros trabalhos.....	13
7.	Referências bibliográficas.....	13
8.	Outras atividades.....	19
9.	JUSTIFICATIVA DE ALTERAÇÃO NO PLANO DE TRABALHO.....	20
10.	Apêndice.....	20

1. Introdução

A ecologia busca, dentre outras coisas, explicar a quantidade de organismos, como eles estão distribuídos e o porquê dessa distribuição. Esta última, por exemplo, pode ser explicada com base na teoria de um espaço conceitual que compreende todas as condições ambientais, bióticas e abióticas, nas quais uma determinada espécie pode sobreviver e desenvolver-se, chamado nicho ecológico (Hutchinson, 1957). Além disso, tal distribuição pode variar geograficamente devido às interações que os organismos possuem com o meio, resultando em adaptações de suas várias características aos diversos fatores ambientais, simultaneamente (Gaston, 2008). Os fatores climáticos estão entre os principais determinantes da distribuição dos organismos, principalmente através da variação na temperatura, umidade, salinidade, entre outras (Rosenzweig, 1995). Alguns estudos baseiam-se numa relação estritamente empírica entre a distribuição atual da espécie e tais variáveis climáticas, no qual assume-se que a distribuição é um indicador da tolerância climática da espécie (Huntley et al., 1995; Peterson et al., 2001; Bakkenes et al., 2002). Outros estabelecem uma relação mecanística, ou seja, fisiológica, entre as variáveis climáticas e as repostas das características morfo-fisiológicas das espécies, como tamanho do corpo e metabolismo (Haxeltine & Prentice, 1996; Sykes et al., 1996; Yom-Tov & Geffen, 2006; Jonas & Geber, 1999; Litzgus et al., 2004; Lardies & Bozinovic, 2006).

O tamanho do corpo é uma característica que apresenta um padrão geográfico bastante estudado que tem como base teórica a regra de Bergmann (Bergmann, 1847; James, 1970). Essa regra, atribuída a organismos endotérmicos (Hawkins & Diniz-Filho 2006; Olson et al. 2009; Pincheira-Donoso 2010), afirma que o tamanho corporal da mesma espécie (ou espécies próximas) aumenta com a latitude, ou seja, que organismos de climas mais frios tendem a ser maiores do que organismos de climas mais quentes. Isso ocorreria porque há uma relação entre o tamanho corporal (característica morfológica) e a regulação da temperatura corporal (característica fisiológica): um animal maior é mais eficiente em conservar determinada temperatura do seu corpo do que um animal pequeno, mantendo uma

temperatura corporal interna mais estável devido à sua menor área de superfície da pele em relação ao volume do corpo (Lindsey, 1966; James, 1970). O volume de um animal define o calor produzido devido o número de células geradoras de calor, enquanto a perda de calor é em função da área de superfície do corpo (Peters, 1983). Assim, organismos maiores por possuírem um volume maior, produzem mais calor e o perdem menos por possuírem área de superfície da pele menor em relação ao seu volume, garantindo assim uma maior eficiência da termorregulação em um clima frio (Rodríguez et al. 2006).

Como em quase todo fenômeno, há exceções para aplicabilidade de uma regra em determinados casos. No caso da regra de Bergmann, a exceção parece estar nos animais de “sangue frio” ou ectotérmicos, como por exemplo os anfíbios. Alguns estudos propõem que anfíbios seguem tal regra (OlallaTárraga & Rodríguez 2007; Gouveia et al., 2013), outros mostram uma fraca relação entre a variação geográfica do tamanho do corpo e a temperatura do ambiente, como proposto originalmente por Bergmann (Ashton, 2002; Slavenko & Meiri, 2015). Isso porque o metabolismo dos anfíbios, como todos os organismos ectotérmicos, produz calor insuficiente e por isso dependem da temperatura do ambiente para regular a temperatura corporal (Wells, 2007). Diante da necessidade de elucidar tais exceções, algumas hipóteses foram levantadas com esse intuito (Rosenzweig, 1968; McNab, 1971; Olalla-Tárraga & Rodríguez, 2007; Rodríguez et al., 2008). Dentre as hipóteses propostas, a hipótese de conservação de água (Nevo, 1973; Ashton, 2002) é a que tem recebido maior suporte recentemente (Gouveia & Correia, 2016; Amado et al. 2019; Gouveia et al. 2019), especialmente para os anuros (sapos, rãs e pererecas), devido sua alta dependência de tal recurso em aspectos biológicos, com o ciclo de vida (Wells 2007), e aspectos fisiológicos com a respiração, osmorregulação e termorregulação (Tracy, 1975-1976; Ruibal, 1962; Shield e Bentley, 1973; Vitalis, 1990). Diferente do mecanismo original da regra de Bergmann (conservação de calor), a conservação de água é o mecanismo por trás da variação geográfica do tamanho corporal para os anuros. Com o aumento da temperatura ambiente, eles aquecem seus corpos, o que também resulta em perda de parte da água corporal por evaporação através da pele, processo que regula a

temperatura chamado de resfriamento evaporativo (Warburg, 1967). Assim, regiões mais secas tendem a selecionar organismos maiores, já que estes conseguem reter mais água em seu interior, enquanto organismos menores tendem a ser favorecidos em áreas mais úmidas, com maior disponibilidade de água. Porém, a hipótese de conservação de água não explica totalmente a variação de tamanhos corporais, como as espécies aquáticas e semiaquáticas, uma vez que a disponibilidade hídrica não é um problema para elas (Gouveia e Correia, 2016).

Além do tamanho corporal, uma outra característica que reflete adaptação dos anuros à perda de água é a resistência cutânea. Essa propriedade é determinada pela estrutura morfológica e química do tegumento dos anfíbios (Lillywhite, 2006). Estes organismos são conhecidos por perderem água muito facilmente através da pele permeável (Bentley e Yorio, 1976; Bentley e Main, 1972) e são sensíveis à desidratação (Spotila e Berman, 1976; Loveridge 1970). Além disso, os anuros persistem em determinados ambientes com elevada evaporação por possuírem o comportamento de seleção de micro-habitat (Shoemaker et al., 1989; Tracy e Christian, 2005; Navas, 1996). Tal preferência de micro-habitat pode estar relacionada com a própria variação do tamanho do corpo (Tracy et al., 2010) e resistência da pele (Lillywhite, 2006). Esses dois atributos relacionados ao mecanismo de economia de água, massa e resistência de pele, , podem apresentar uma relação evolutiva por serem selecionados positivamente em animais conforme a sensibilidade dessas características à perda de água, a fim de conferir uma adaptação à desvantagem de pouca água em seu corpo ou de uma rápida desidratação (Titon et al., 2017; Gouveia et al., 2019).

2. Objetivos

Esse trabalho tem como objetivo testar a hipótese de conservação de água na variação geográfica de tamanho corporal e resistência da pele entre espécies de anfíbios anuros em resposta à variação climática de restrição hídrica e como essa variação relaciona-se com o uso de micro-habitat das espécies.

3. Metodologia

Coletamos informações bióticas e abióticas das espécies de anfíbios anuros de todo o planeta. Dentre as informações bióticas, reunimos informações de atributos morfofisiológicos e ecológicos das espécies, especificamente massa (g), resistência da pele ($s\ cm^{-1}$) e micro-habitat predominante (arborícolas, aquáticas e terrestres). Essas informações foram reunidas a partir de um levantamento bibliográfico (Apêndice) e através de colaborações com os Profs. Dr. Carlos Navas, do Departamento de Fisiologia do Instituto de Biociências (USP), e Prof. Dr. Denis Andrade, do Departamento de Zoologia (UNESP). Para caracterizar as relações evolutivas entre as espécies, utilizamos a árvore filogenética dos anfíbios mais recente (Jetz & Pyron, 2018). Essa informação filogenética é fundamental para descrever o compartilhamento de ancestralidade e dependência estatística entre os atributos investigados.

Quanto à informação abiótica, obtivemos mapa global de evapotranspiração potencial (PET), a qual descreve as restrições hídricas previstas pela hipótese de conservação de água. PET é a capacidade do ambiente em remover água devido a energia absorvida disponível no sistema e o conteúdo de água na atmosfera (Fisher et al. 2011). Como os anuros são hidrofílicos e perdem água muito fácil através da pele, essa variável descreve bem a restrição hídrica experimentada por esses organismos no ambiente. As informações da variável foram obtidas a partir do banco de dados CGIAR-CSI Global Soil-Water Balance Database (Trabucco & Zomer, 2010; Figura 1).

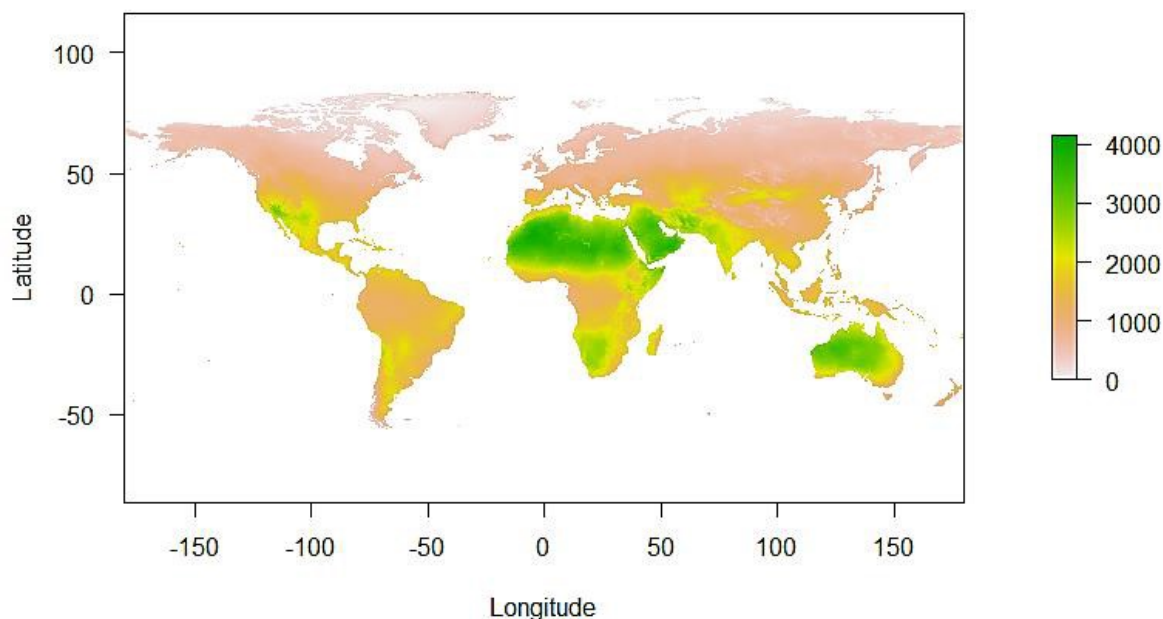


Figura 1. Gradiente geográfico de Evapotranspiração Potencial Anual.

Obtemos registros de ocorrência (coordenadas geográficas) de todas as espécies. Esses dados foram obtidos a partir do banco de dados Global Biodiversity Information Facility (GBIF, <http://www.gbif.org>). A partir das localidades de ocorrência de cada espécie, extraímos os valores da variável climática PET. Para cada espécie, calculamos a mediana das condições, a qual descreve o valor de PET típico da área de distribuição geográfica em que cada espécie vive.

A árvore filogenética foi reduzida apenas às espécies das quais tínhamos informações bióticas (de pouco mais de 4000 para 118 espécies; Figura 2). Para os dados de ocorrência das espécies, examinamos e excluimos dados com erro nas coordenadas geográficas. Estes erros incluem registros duplicados, com latitude ou longitude = 0, coordenadas que indicam que algumas espécies ocorrem no oceano (não há registro de espécie de anuro que seja marinha) e registros suspeitos, aqueles que ocorrem fora da distribuição conhecida da espécie (Figura 3).

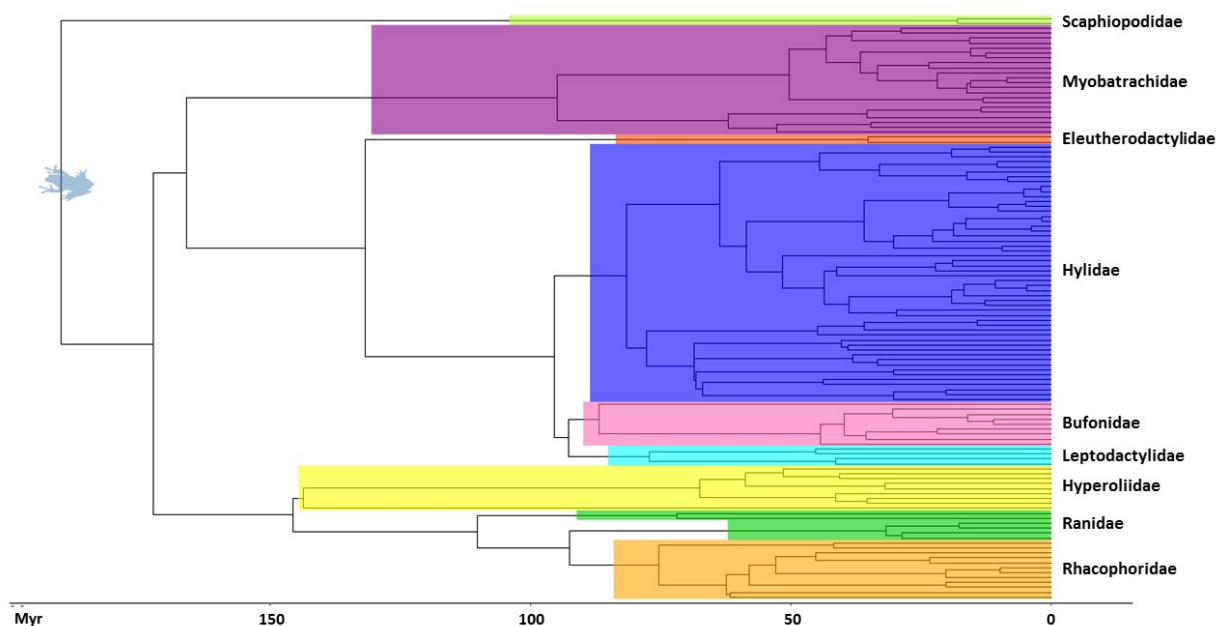


Figura 2. Árvore filogenética contendo 118 espécies pertencentes à 9 famílias, destacadas na figura com diferentes cores e seus respectivos nomes.

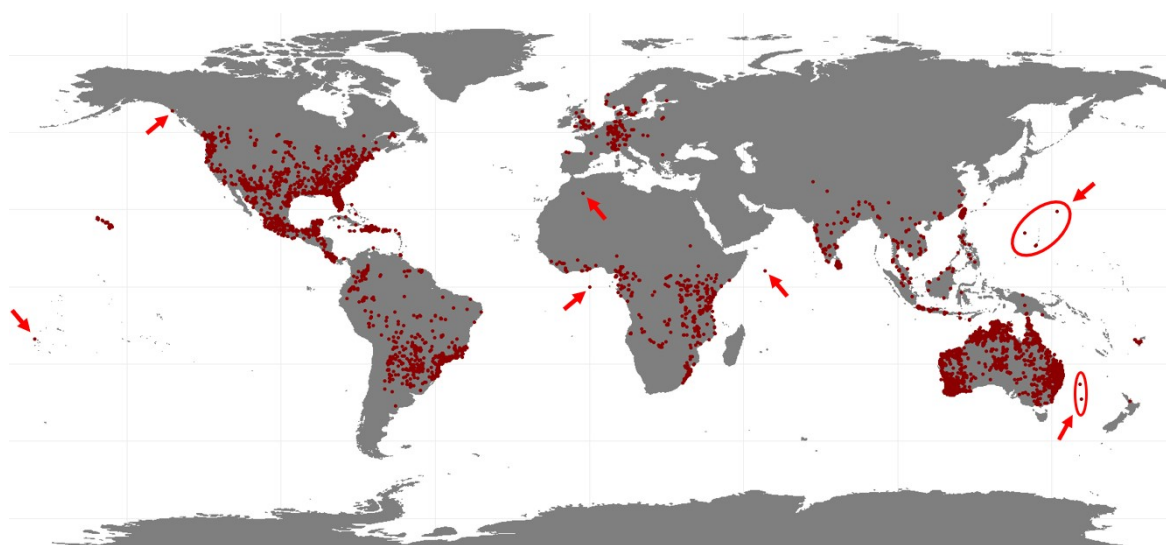


Figura 3. Pontos de ocorrência das espécies utilizados nesse trabalho. Pontos destacados por seta em vermelho foram excluídos por apresentarem erros nas coordenadas geográficas.

Após reunidas as informações necessárias, utilizamos métodos filogenéticos comparativos, que é um conjunto de métodos estatísticos que incorporam a relação de parentesco entre as espécies nas análises (Felsenstein, 1985). Como consequência da ancestralidade comum, as espécies podem representar dados estatisticamente dependentes, os graus de liberdade podem ser inflados e os níveis de significância de testes convencionais podem não ser confiáveis (Garland et al., 1993). Além disso, a dependência dos dados será maior quanto mais próximas filogeneticamente forem as espécies, o que chamamos de sinal filogenético. Assim, dentre tais métodos estatísticos, utilizamos o lambda (λ) de Pagel (1999) para testarmos o sinal filogenético e sua significância (ao nível de significância de $p < 0.05$). O valor do lambda de Pagel varia de 0 a 1, onde 0 significa ausência e 1 presença de sinal filogenético. Para compararmos a massa e resistência da pele entre os diferentes micro-habitats, utilizamos a análise de variância filogenética (Garland et al., 1993). E por fim, testamos a relação entre os dois atributos e o PET, incluindo o micro-habitat como um co-fator. Para tanto, foi utilizada um ANCOVA filogenética. Esta técnica consiste em uma análise de regressão filogenética, incluindo-se a possível interação das relações entre as variáveis contínuas (massa ou resistência em função do PET), com o micro-habitat como co-fator. A correção do efeito da autocorrelação filogenética é feita pela transformação da matriz de variância-covariância pelo valor de lambda (λ) de Pagel (Pagel, 1999).

O tratamento e análises de dados foram feitas no ambiente R (Development Core Team, 2016) usando os pacotes caper (Orme, 2011), ape (Paradis, 2012), phytools (Revell, 2012), raster (Hijmans & van Etten, 2012) e rgbif (Chamberlain et al., 2019). Figuras foram feitas utilizando o pacote ggtree (G Yu et al., 2017), uma implementação do pacote ggplot2 (Wickham, 2016).

4. Resultados e discussão

Foram coletados dados de 118 espécies (ver Apêndice). Os valores de tamanho corporal variaram entre 0,23 g (*Litoria micrabelos*) a 94,85 g (*Rhinella icterica*), com média de 11,19 ($\pm 14,57$ desvios padrão). Já os valores de resistência